

# SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

## EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO, TRANSLOCAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO POR VARIEDADES DE TRIGO<sup>(1)</sup>

A. D. ABICHEQUER<sup>(2)</sup> & H. BOHNEN<sup>(3)</sup>

### RESUMO

Com vistas em obter variedades de trigo mais eficientes na absorção e, ou, utilização de fósforo, é importante a investigação das causas da maior eficiência de certas variedades. Realizou-se um experimento em solução nutritiva, com quatro concentrações de fósforo (1,6; 4,8; 12,9 e 32,3  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), comparando cultivares considerados eficientes (Toropi e IAC 5) e ineficientes (IAS 20 e CNT 8) quanto à absorção de fósforo, translocação e utilização do nutriente, matéria seca produzida e morfologia das raízes (comprimento, raio médio e área superficial). O cultivo foi realizado em outubro e novembro de 1993, em casa de vegetação da Faculdade de Agronomia da UFRGS (Porto Alegre-RS). As variedades não se diferenciaram quanto ao conteúdo de fósforo na planta. Não houve relação entre a absorção de fósforo e a morfologia das raízes. Os cultivares Toropi e IAC 5 mostraram-se mais eficientes na utilização de fósforo, bem como na translocação desse nutriente para a parte aérea.

**Termos de indexação:** eficiência, absorção, translocação, utilização, fósforo, variedades, trigo.

### **SUMMARY:** *EFFICIENCY OF PHOSPHORUS UPTAKE, TRANSLOCATION AND UTILIZATION IN WHEAT VARIETIES*

*To get more efficient wheat varieties in phosphorus uptake and/or utilization it is important to look for the causes of the greater efficiency of particular varieties. One experiment in nutrient solution with four concentrations of phosphorus (1.6, 4.8, 12.9 and 32.3  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) was conducted to compare efficient (Toropi and IAC 5) and inefficient cultivars (IAS 20 and CNT 8) in phosphorus uptake in relation to the amount of phosphorus taken up, phosphorus translocation and utilization, dry matter production and root morphology (length, mean radius and surface area). The research was conducted in October and November 1993, in greenhouse of the Soil Department/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brazil. The amount of phosphorus taken up did not differ among the varieties. There was no relationship between the amount of phosphorus taken*

<sup>(1)</sup> Parte do trabalho de dissertação do primeiro autor, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo na Faculdade de Agronomia da UFRGS. Recebido para publicação em outubro de 1995 e aprovado em novembro 1997.

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo, EMATER/RS. Rua Bento Gonçalves, 774, CEP 95900-000 Lajeado (RS).

<sup>(3)</sup> Engenheiro-Agrônomo, Professor do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS).

*up and root morphology. Efficiency of phosphorus translocation to shoot differentiated the varieties, with Toropi and IAC 5 being more efficient. Toropi and IAC 5 were also more efficient in phosphorus utilization.*

*Index terms: efficiency, uptake, translocation, utilization, phosphorus, varieties, wheat.*

## INTRODUÇÃO

A deficiência de fósforo é uma das maiores limitações para a obtenção de bons rendimentos em lavouras de trigo no Brasil, o que é agravado pelo fato de esse cereal ser, geralmente, cultivado em solos ácidos e com alta capacidade de fixação de fósforo por compostos de ferro e alumínio. O desenvolvimento de cultivares mais eficientes na absorção e, ou, utilização de fósforo constitui uma forma de minimizar esse problema, reduzindo a necessidade de adubação e o custo de produção da cultura. Com este objetivo, é importante investigar as causas da maior eficiência de certas variedades.

Muitos trabalhos demonstraram a variabilidade entre espécies e variedades de plantas com relação à capacidade de absorção e utilização de fósforo. Entre variedades de trigo, foram determinadas diferenças por autores como Ben & Rosa (1983), Miranda (1985), Römer et al. (1988), Rosa & Camargo (1990), Gardiner & Christensen (1990) e Soon (1992).

A maior ou a menor eficiência no aproveitamento do fósforo presente no solo são provocadas por diferenças na absorção, translocação e utilização desse nutriente pelas plantas (Gerloff & Gabelman, 1983), diferenças associadas a características morfológicas e fisiológicas das plantas.

A variabilidade da capacidade de absorção de fósforo entre variedades pode ser causada por diferenças nas características morfológicas das raízes, importantes, principalmente, para nutrientes presentes em baixas concentrações na solução do solo e para os quais o acesso radicular aos elementos limita a absorção, como o fósforo (Gerloff, 1977; Miranda, 1985; Römer et al., 1988). Também podem ser responsáveis por distinta eficiência de absorção diferenças na taxa de crescimento de raízes (Barber, 1984), tolerância à toxidez de alumínio (Vilela & Anghinoni, 1984; Miranda, 1985), densidade e morfologia de pêlos radiculares (Gardiner & Christensen, 1990; Föhse et al., 1991), parâmetros cinéticos de absorção (Vilela & Anghinoni, 1984; Föhse et al., 1991) e eficiência da simbiose com micorrizas (Smith et al., 1992).

A eficiência de translocação de fósforo para a parte aérea condiciona o suprimento do nutriente aos sítios fotossinteticamente ativos da planta. Essa translocação é influenciada pelo estado nutricional das células da raiz (plantas deficientes retêm mais fósforo na raiz), pela taxa de transpiração das variedades e pela tolerância ao alumínio (precipita o fósforo na raiz), conforme relataram Bielecki (1973) e Marschner (1986).

As variedades também podem distinguir-se quanto à eficiência de utilização de fósforo (matéria seca produzida/teor de fósforo no tecido). A maior eficiência de utilização pode ser devida à menor necessidade de fósforo para as reações bioquímicas da planta, à maior redistribuição do nutriente para os pontos de crescimento e à maior mobilização do fósforo armazenado nos vacúolos das células em situação de deficiência (Gerloff & Gabelman, 1983).

O presente trabalho objetivou comparar variedades consideradas eficientes e ineficientes quanto à absorção de fósforo com relação ao conteúdo de fósforo na planta, translocação e utilização desse nutriente. Avaliaram-se, ainda, as características morfológicas das raízes para explicar diferenças de eficiência de absorção de fósforo entre as variedades.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas as variedades Toropi e IAC 5-Maringá, consideradas eficientes, e IAS 20 e CNT 8, ineficientes, selecionadas conforme dados de Ben & Rosa (1983) e Rosa & Camargo (1990).

O experimento foi desenvolvido em solução nutritiva e consistiu de um fatorial 4 x 4 (quatro genótipos e quatro concentrações de fósforo na solução), com três repetições. O delineamento experimental foi completamente casualizado. As concentrações de fósforo usadas foram de 1,6; 4,8; 12,9 e 32,3  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , definidas conforme teste preliminar e aplicadas na forma de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Os demais nutrientes estavam presentes na solução, nas seguintes concentrações: 2,0 mmol  $\text{L}^{-1}$  de K (KCl); 1,0 mmol  $\text{L}^{-1}$  de Mg ( $\text{MgSO}_4$ ); 1,0 mmol  $\text{L}^{-1}$  de S ( $\text{MgSO}_4$ ); 4,0 mmol  $\text{L}^{-1}$  de N ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ); 1,5 mmol  $\text{L}^{-1}$  de Ca ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  e  $\text{CaCl}_2$ ); 3,0 mmol  $\text{L}^{-1}$  de Cl (KCl e  $\text{CaCl}_2$ ); 105  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Fe (Fe-EDTA); 4,5  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Mn ( $\text{MnSO}_4$ ); 4,7  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Cu ( $\text{CuSO}_4$ ); 1,5  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Zn ( $\text{ZnSO}_4$ ); 23,1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de B ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) e 0,1  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Mo ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ).

O cultivo foi realizado nos meses de outubro e novembro de 1993, em casa de vegetação do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS (Porto Alegre-RS). As sementes foram pré-germinadas em papel de filtro com solução de 0,5 mmol  $\text{L}^{-1}$  de cálcio, na forma de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . As plântulas, com quatro dias de idade, foram transplantadas para vasos de 2 L de capacidade, colocando-se quatro plantas por vaso, fixadas em placas de isopor. A solução nutritiva, com pH de  $4,3 \pm 0,2$ , foi aerada continuamente e renovada a cada dois dias.

As plantas foram cultivadas, nessa solução, por 30 dias, e colhidas aos 34 dias de idade. A parte aérea e as raízes foram separadas durante a colheita. A primeira determinação realizada foi o peso das raízes frescas. O comprimento das raízes foi avaliado pelo método de Tennant (1975). O raio médio e a área superficial das raízes foram calculados com base no peso e no comprimento das raízes frescas, conforme Schenk & Barber (1979). Em seguida, as plantas foram secas em estufa a 60°C até peso constante para a determinação da quantidade de matéria seca da parte aérea e das raízes. O teor de fósforo no tecido, tanto da parte aérea quanto das raízes, foi determinado pelo método de Murphy & Riley (1962), após combustão a 500°C por 6 h, e dissolução das cinzas com  $\text{HNO}_3$  2 mol  $\text{L}^{-1}$ . O fósforo translocado foi calculado da seguinte forma: fósforo translocado = (conteúdo de fósforo na parte aérea/conteúdo de fósforo na planta) x 100. A eficiência de utilização de fósforo foi calculada, conforme Siddiqi & Glass (1981), da seguinte maneira: (matéria seca total/conteúdo de fósforo na planta) x matéria seca total. Procedeu-se à análise da variância dos resultados e à comparação das médias dos cultivares pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%. Analisou-se, também, a correlação entre o conteúdo de fósforo na planta e as características morfológicas das raízes, bem como entre a matéria seca da parte aérea e o conteúdo de fósforo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Absorção de fósforo

O conteúdo de fósforo na planta cresceu com o aumento da concentração do elemento na solução nutritiva (Quadro 1). Não se observaram, portanto, diferenças entre as variedades quanto à absorção de fósforo (Quadro 2). No experimento de Rosa & Camargo (1990), realizado em solo ácido com níveis tóxicos de alumínio, os cultivares Toropi e IAC 5 absorveram maior quantidade de fósforo do que o CNT 8. O melhor desempenho do Toropi e do IAC 5 obtido por esses autores estava, provavelmente, relacionado com a maior tolerância dessas variedades ao alumínio, em relação ao CNT 8.

**Quadro 1. Conteúdo médio de fósforo em plantas de trigo cultivadas em solução nutritiva com quatro concentrações de fósforo. Média de quatro variedades**

Concentração de fósforo	Conteúdo de fósforo
$\mu\text{mol L}^{-1}$	mg/planta
1,6	0,36d
4,8	0,83c
12,9	2,12b
32,3	5,08a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ao nível de significância de 5%. Não houve interação significativa entre variedades e concentrações de fósforo.

Não houve relação entre o conteúdo de fósforo na planta e as características morfológicas das raízes. O conteúdo de fósforo na planta apresentou baixa correlação com o comprimento ( $r = 0,39$ ), raio ( $r = 0,03$ ) e área das raízes ( $r = 0,50$ ). O IAS 20 apresentou maior comprimento, menor raio médio e maior área superficial das raízes (condições ideais, teoricamente) (Quadro 3), mas não superou as outras variedades na absorção de fósforo (Quadro 2).

A eficiência de absorção de fósforo das variedades e sua relação com a morfologia das raízes devem, no entanto, ser investigadas com experimento em solo. Fatores como pêlos radiculares, micorrizas e morfologia radicular, que não são importantes em solução nutritiva, podem provocar diferenças de eficiência de absorção de fósforo entre as variedades cultivadas em solo. No solo, tais características são importantes para o movimento do fósforo por difusão até as raízes. A agitação da solução nutritiva provocada pela aeração transporta o fósforo até as raízes, diminuindo a importância da difusão e da morfologia das raízes no acesso ao nutriente (Gerloff & Gabelman, 1983). Além disso, no final do período de cultivo, percebeu-se decréscimo do fósforo da solução em função da absorção pelas plantas, o que pode ter prejudicado a relação entre a morfologia das raízes e a absorção de fósforo. Antes de emitir

**Quadro 2. Conteúdo médio de fósforo em quatro variedades de trigo cultivadas em solução nutritiva. Média de quatro concentrações de fósforo**

Variedade	Conteúdo de fósforo
	mg/planta
Toropi	2,23 a
IAC 5	2,19 a
IAS 20	2,05 a
CNT 8	1,93 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan ao nível de significância de 5%. Não houve interação significativa entre variedades e concentrações de fósforo.

**Quadro 3. Comprimento, raio médio e área superficial das raízes de quatro variedades de trigo cultivadas em solução nutritiva. Média de quatro concentrações de fósforo**

Variedade	Comprimento	Raio médio	Área superficial
	cm/planta	mm	$\text{cm}^2/\text{planta}$
IAS 20	2.236 a	0,116 c	159,6 a
CNT 8	1.578 b	0,126 b	123,6 b
Toropi	1.549 b	0,132 b	127,1 b
IAC 5	1.295 b	0,152 a	118,7 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%. Não houve interação significativa entre variedades e concentrações de fósforo.

conclusões definitivas sobre o comportamento das variedades, deve-se realizar um estudo em solo. Numa fase inicial, todavia, a solução nutritiva apresenta vantagens, como maior controle das concentrações de nutrientes usadas e possibilidade de análise do tecido das raízes sem contaminação. Autores, como Vilela & Anghinoni (1984), Miranda (1985) e Martinez et al. (1993), avaliaram a absorção de fósforo e, ou, a morfologia das raízes em solução nutritiva.

### Translocação de fósforo

Os resultados da análise de fósforo no tecido indicam que as variedades distinguiram-se com relação à translocação do fósforo absorvido para a parte aérea. A translocação aumentou com o aumento da concentração do fósforo na solução (Quadro 4). As plantas retêm maior quantidade de fósforo nas raízes em condições de deficiência, mantendo o crescimento do sistema radicular em detrimento da parte aérea. Esse fenômeno também foi observado por Loneragan & Asher (1967), em várias espécies; por Miranda (1985), em trigo, e por Martinez et al. (1993), em soja. Os cultivares Toropi e IAC 5 foram mais eficientes na translocação de fósforo do que os demais (Quadro 5). Em decorrência disto, esses cultivares apresentaram maior conteúdo de fósforo na parte aérea (Quadro 6), enquanto, no IAS 20 e no CNT 8, maior conteúdo do elemento estava presente nas raízes, nas duas concentrações mais altas de fósforo na solução (embora, na parte aérea, a diferença tenha sido significativa, estatisticamente, apenas na concentração mais elevada). Assim, o Toropi e o IAC 5 conseguiram manter mais adequadamente as concentrações de fósforo necessárias ao metabolismo nos sítios fotossintéticos. Miranda (1985) e Alves et al. (1988) também encontraram diferente translocação de fósforo em variedades de trigo. No trabalho de Miranda (1985), a variedade IAC 5 foi mais eficiente do que a Jutapeco na absorção e translocação de fósforo.

**Quadro 4. Translocação média de fósforo para a parte aérea (percentagem do fósforo absorvido presente na parte aérea) de plantas de trigo cultivadas em solução nutritiva com quatro concentrações de fósforo. Média de quatro variedades**

Concentração de fósforo	Fósforo translocado
$\mu\text{mol L}^{-1}$	%
1,6	63,8 d
4,8	71,6 c
12,9	83,2 b
32,3	89,1 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%. Não houve interação significativa entre variedades e concentrações de fósforo.

**Quadro 5. Translocação média de fósforo para a parte aérea (percentagem do fósforo absorvido presente na parte aérea) em quatro variedades de trigo cultivadas em solução nutritiva. Média de quatro concentrações de fósforo**

Variedade	Fósforo translocado
	%
Toropi	80,1 a
IAC 5	79,9 a
CNT 8	76,1 b
IAS 20	71,6 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%. Não houve interação significativa entre variedades e concentrações de fósforo.

**Quadro 6. Conteúdo de fósforo na parte aérea de quatro variedades de trigo cultivadas em solução nutritiva com quatro concentrações de fósforo**

Variedade	Concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )			
	1,6	4,8	12,9	32,3
	mg/planta			
Toropi	0,230 a	0,675 a	1,950 a	5,038 a
IAC 5	0,232 a	0,609 a	1,872 a	5,034 a
IAS 20	0,194 a	0,532 a	1,587 a	4,190 b
CNT 8	0,252 a	0,557 a	1,667 a	3,889 b

Médias de variedades seguidas pela mesma letra, dentro de cada concentração de fósforo, não diferem pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%.

### Utilização de fósforo e produção de matéria seca

Os cultivares Toropi e IAC 5 produziram maior quantidade de matéria seca total a partir da concentração de  $4,8 \mu\text{mol L}^{-1}$  de fósforo na solução (Quadro 7). Como a quantidade de fósforo absorvido pelas variedades foi semelhante (Quadro 2), a maior produção de matéria seca total por essas variedades é explicada pela diferente eficiência de utilização do elemento (Quadro 8). Toropi e IAC 5 foram mais eficientes do que as outras variedades. Gardiner & Christensen (1990) atribuíram a diferente eficiência com relação ao fósforo dos dois cultivares de trigo (Toropi e IAC 5) à eficiência de utilização, e não a diferenças na absorção do nutriente. O solo utilizado por esses autores era moderadamente deficiente em fósforo, mas não era ácido.

Toropi e IAC 5 também produziram maior quantidade de matéria seca da parte aérea nas duas concentrações mais altas de fósforo (Quadro 9). Essa produção relacionou-se com o conteúdo de fósforo nessa parte da planta (alta correlação,  $r = 0,91$ ), que foi maior no Toropi e no IAC 5. A maior capacidade de



translocar o fósforo das raízes para a parte aérea permitiu que tais variedades aí produzissem maior quantidade de matéria seca. Esse fato reveste-se de importância por ser a parte aérea a porção da planta que mais influi sobre a produção de grãos,

considerando o processo de fotossíntese, que ocorre em folhas e colmos. Além disso, os fotossintatos produzidos na parte aérea são transportados para as raízes, onde são aproveitados para o crescimento radicular. Os cultivares Toropi e IAC 5 também produziram maior quantidade de matéria seca da parte aérea do que o IAS 20 e o CNT 8 em solo ácido e em solução nutritiva (Rosa & Camargo, 1990).

**Quadro 7. Matéria seca total produzida por quatro variedades de trigo cultivadas em solução nutritiva com quatro concentrações de fósforo**

Variedade	Concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )			
	1,6	4,8	12,9	32,3
	mg/planta			
Toropi	0,264 a	0,524 a	0,815 a	1,015 a
IAC 5	0,259 a	0,495 ab	0,771 ab	1,069 a
CNT 8	0,243 a	0,425 b	0,695 bc	0,741 b
IAS 20	0,225 a	0,432b	0,660 c	0,776 b

Médias de variedades seguidas pela mesma letra, dentro de cada concentração de fósforo, não diferem pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%.

**Quadro 8. Eficiência média de utilização de fósforo de quatro variedades de trigo cultivadas em solução nutritiva. Média de quatro concentrações de fósforo**

Variedade	Eficiência de utilização
	$g^2$ de MS/mg de P
Toropi	0,249 a
IAC 5	0,245 a
CNT 8	0,186 b
IAS 20	0,181 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%. Não houve interação significativa entre variedades e concentrações de fósforo.

MS = matéria seca total.

**Quadro 9. Matéria seca da parte aérea produzida por quatro variedades de trigo cultivadas em solução nutritiva com quatro concentrações de fósforo**

Variedade	Concentração de fósforo ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )			
	1,6	4,8	12,9	32,3
	mg/planta			
Toropi	0,153 a	0,354 a	0,645 a	0,864 a
IAC 5	0,158 a	0,335 ab	0,625 a	0,900 a
CNT 8	0,144 a	0,281 ab	0,531 b	0,606 b
IAS 20	0,132 a	0,275 b	0,482 b	0,603 b

Médias de variedades seguidas pela mesma letra, dentro de cada concentração de fósforo, não diferem pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%.

## CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou que os cultivares eficientes e ineficientes no aproveitamento de fósforo da solução nutritiva diferenciaram-se quanto à capacidade de translocar o fósforo para a parte aérea e utilizá-lo na produção de matéria seca.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Luiz Carlos Federizzi, do Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia da UFRGS, pela orientação sobre as características das variedades utilizadas e pelo fornecimento das sementes. Também agradecem ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

## LITERATURA CITADA

- ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Efeito do alumínio sobre a absorção e translocação de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 23:563-573, 1988.
- BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York, John Wiley, 1984. 398p.
- BEN, J.R. & ROSA, O.S. Comportamento de algumas cultivares de trigo em relação a fósforo no solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 18:967-972, 1983.
- BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 24:225-252, 1973.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N. & JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant Soil*, 132:261-272, 1991.
- GARDINER, D.T. & CHRISTENSEN, N.W. Characterization of phosphorus efficiencies of two winter wheat cultivars. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1337-1340, 1990.
- GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium. In: WRIGHT, M.J., ed. *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Ithaca, Cornell University Press, 1977. p.161-173.
- GERLOFF, G.C. & GABELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A. & BIELESKI, R.L. ed. *Inorganic plant nutrition*. New York, Springer-Verlag, 1983. p.453-480.

- LONERAGAN, J.F. & ASHER, C.J. Response of plants to phosphate concentration in solution culture: II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. *Soil Sci.*, 103:311-318, 1967.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. New York, Academic Press, 1986. 674p.
- MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F.; SACRAMENTO, L.V.S. & RODRIGUES, L.A. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes concentrações de fósforo: II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:239-244, 1993.
- MIRANDA, L.N. Aluminum-phosphate interactions in relation to wheat growth. Reading, University of Reading, 1985. 169p. (Tese de Doutorado)
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, 27:31-36, 1962.
- RÖMER, W.; AUGUSTIN, J. & SCHILING, G. The relationship between phosphate absorption and root length in nine wheat cultivars. *Plant Soil*, 111: 199-201, 1988.
- ROSA, O.S. & CAMARGO, C.E.O. Wheat breeding for better efficiency in phosphorus use. In: SAUNDERS, D.A. ed. *Wheat for the nontraditional warm areas: a proceeding of the international conference*. Foz do Iguaçu, United Nations Development Programme International Maize and Wheat Improvement Center, 1990. p.333-351.
- SCHENK, M.K. & BARBER, S.A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agron. J.*, 48: 921-924, 1979.
- SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, 4:289-302, 1981.
- SMITH, S.E.; ROBSON, A.D. & ABBOTT, L.K. The involvement of mycorrhizas in assesment of genetically dependent efficiency of nutrient uptake and use. *Plant Soil*, 146:169-179, 1992.
- SOON, Y.K. Differential response of wheat genotypes to phosphorus in acid soils. *J. Plant Nutr.*, 15:513-526, 1992.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root lenght. *J. Ecol.*, 63:995-1000, 1975.
- VILELA, L. & ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetadas pela interação alumínio-fósforo. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:91-96, 1984.